

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第8期

Vol.33 No.8

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南海北部大气气相多溴联苯醚的含量及来源	李琦路, 李军, 刘向, 徐维海, 张干 (2533)
河北张家口市大气污染观测研究	邵平, 王莉莉, 安俊琳, 周彦丽, 王跃思 (2538)
大气中丙烷光氧化臭氧生成活性的烟雾箱模拟	黄丽华, 莫创荣, 徐永福, 贾龙 (2551)
膜生物反应器处理甲苯性能及机制	叶杞宏, 魏在山, 肖盼, 李华琴, 张再利, 樊青娟 (2558)
厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析	张红玉, 邹克华, 杨金兵, 李国学, 杨青原, 张锋 (2563)
北京城市生态系统地表水硝酸盐污染空间变化及其来源研究	徐志伟, 张心昱, 任玉芬, 孙晓敏, 王效科, 王升忠 (2569)
枯、平、丰水期长江3条支流表层水中多氯联苯的分布特征及风险评价	李昆, 赵高峰, 周怀东, 曾敏, 廖柏寒, 吴正勇, 张盼伟, 柳敏 (2574)
三峡库区丰水期表层水中酚类的分布特征及潜在风险	吴正勇, 赵高峰, 周怀东, 李科林, 李昆, 张盼伟 (2580)
东湖表层水体中全氟辛酸和全氟辛磺酸空间分布特征	陈静, 王琳玲, 朱湖地, 王贝贝, 刘黄诚, 曹梦华, 苗竹, 胡丽, 陆晓华, 刘光虹 (2586)
三峡库区大宁河与磨刀溪重金属污染特征	安立会, 张艳强, 郑丙辉, 刘玥, 宋双双, 李子成, 陈浩, 赵兴茹, 林进 (2592)
长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价	王岚, 王亚平, 许春雪, 安子怡 (2599)
江苏如东滩涂贝类养殖区表层沉积物中重金属来源分析及其潜在生物毒性	李磊, 王云龙, 蒋玫, 袁璐, 沈新强 (2607)
扰动强度对太湖沉积物中磷释放及其形态转化的影响	李大鹏, 黄勇 (2614)
干流倒灌异重流对香溪河库湾营养盐的补给作用	张宇, 刘德富, 纪道斌, 杨正健, 陈媛媛 (2621)
常年淹水和干旱对三峡库区消落带菖蒲生长恢复的影响	李强, 高祥, 丁武泉, 朱启红, 欧媛, 刘瑜 (2628)
温州城市降雨径流磷的负荷及其初始冲刷效应	周栋, 陈振楼, 毕春娟 (2634)
沂蒙山区典型小流域降雨径流的磷素输出特征	于兴修, 李振炜, 刘前进, 井光花 (2644)
城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响	杨峰, 王鹏举, 杨珊珊, 吴金水, 胡荣桂 (2652)
基于 AnnAGNPS 模型四岭水库小流域氮磷流失特征的模拟研究	边金云, 王飞儿, 杨佳, 俞洁, 楼莉萍, 俞丹萍 (2659)
基于 GIS 和 L-THIA 模型的深圳市观澜河流域非点源污染负荷变化分析	白凤姣, 李天宏 (2667)
黄土丘陵区坡面水蚀对降雨和下垫面微观格局的响应	卫伟, 贾福岩, 陈利顶, 吴东平, 陈瑾 (2674)
强化混凝对腐殖酸和富里酸去除对比研究	周玲玲, 张永吉, 叶河秀, 张一清 (2680)
九龙江下游水源水中新发病原微生物和抗生素抗性基因的定量 PCR 检测	王青, 林惠荣, 张舒婷, 于鑫 (2685)
布吉河丰水期总细菌和氨氧化细菌的定性和定量研究	孙海美, 白姣姣, 孙卫玲, 邵军 (2691)
曝气生物滤池工艺脱氮性能及反硝化细菌群落结构特征研究	彭晓兰, 刘聪, 陈吕军 (2701)
城市污水处理厂氧化沟工艺微生物种群分析	郭云, 杨殿海, 卢文健 (2709)
IC 反应器处理啤酒废水的效能及其微生物群落动态分析	朱文秀, 黄振兴, 任洪艳, 阮文权 (2715)
原子力显微镜液池成像技术应用于微絮凝过滤工艺过程中的实验条件优化	郑蓓, 葛小鹏, 于志勇, 原盛广, 张文婧, 孙景芳 (2723)
UV/H ₂ O ₂ 法对印染废水生化出水中不同种类有机物的去除效果	李新, 刘勇弟, 孙贤波, 徐宏勇, 钱飞跃, 李欣珏, 李暮 (2728)
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 的异养培养条件优化及污水养殖	王秀锦, 李兆胜, 邢冠岚, 李卓凝, 袁红莉, 杨金水 (2735)
“Fe ⁰ /优势脱氯菌”体系降解 2,4,6-TCP 特性及机制研究	戴友芝, 郭丽丽, 史雷, 刘智勇, 高宝钗 (2741)
树脂 D201 上粗漆酶的固定化及对孔雀石绿的脱色	戚绪亮, 刘翔, 刘波, 王林, 王小春, 方超 (2747)
TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ 光催化剂的低温制备及其光催化和磁回收性能	王雪姣, 任学昌, 念娟妮, 肖举强, 王刚, 常青 (2752)
微波加热下苯的催化氧化性能研究	张钰彩, 卜龙利, 王晓晖, 刘海楠, 张浩 (2759)
纳米磁粉协同解偶联剂作用下活性污泥性能的研究	高丽英, 汤兵, 梁玲燕, 黄绍松, 付丰连, 罗建中 (2766)
好氧颗粒污泥沉降选择实验研究与定量描述	苏德足, 邓绣坤, 郑丽, 王畅, 金旺江, 沈俊 (2773)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中水解酶活性变化研究	叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝建, 许燕滨, 占星星, 刘敬勇 (2780)
微生物营养剂浓度对生物沥浸法促进城市污泥脱水性能的影响	宋永伟, 刘奋武, 周立祥 (2786)
实验室条件下蓝藻结皮对低温光照胁迫的响应与微结构变化	饶本强, 李华, 熊瑛, 兰书斌, 李敦海, 刘永定 (2793)
西南地区紫色水稻土活性碳库的季节动态	吴艳, 江长胜, 郝庆菊 (2804)
典型设施菜地土壤抗生素污染特征与积累规律研究	尹春艳, 骆永明, 滕应, 章海波, 陈永山, 赵永刚 (2810)
土壤铜硒复合污染中金属形态转化及其对生物有效性的影响	胡斌, 梁东丽, 赵文龙, 缪树寅 (2817)
土壤微生物群落对多环芳烃污染土壤生物修复过程的响应	张晶, 林先贵, 刘魏魏, 尹睿 (2825)
可可毛色二孢菌对焦化厂土壤多环芳烃污染修复	张志远, 王翠苹, 刘海滨, 孙红文 (2832)
广西茶山梯矿尾砂中微量元素的淋滤实验研究	蔡永兵, 李玲, 魏晓飞, 张国平, 李海霞, 付志平 (2840)
北京市近郊区土壤砷累积特征	戚洁, 王美娥, 汪自强, 欧阳志云 (2849)
抗氧化酶基因作为多环麝香污染分子标志物研究	陈春, 周启星, 刘潇威 (2855)
臭气污染对不同品种小麦干物质与生物量碳积累与分配的影响	寇太记, 于伟伟, 朱建国, 朱新开 (2862)
尿素分解共沉淀法中反应时间对 ZnAl 类水滑石结构和磷吸附性能的影响	陆英, 程翔, 邢波, 孙中恩, 孙德智 (2868)
铅和铜离子在纳米羟基磷灰石上的竞争吸附动力学研究	胡田田, 仓龙, 王玉军, 司友斌, 周东美 (2875)
pH 和 Ni ²⁺ 对人工纳米氧化硅吸附菲的影响	罗沛, 孙红文, 张鹏 (2882)
铀在凹凸棒石上的吸附特性与机制研究	刘娟, 陈迪云, 张静, 宋刚, 罗定贵 (2889)
环丙沙星在潮土中的吸附特性	崔皓, 王淑平 (2895)
中高温区水合肼 SNCR 脱硝反应机制和特性研究	洪彦, 陈德珍, 王渡, 黄慷 (2901)
H ₂ S 选择性催化氧化工艺及催化剂研究现状	郝郑平, 冀广玉, 张鑫, 曲思秋 (2909)
《环境科学》征稿简则 (2550) 《环境科学》征订启事 (2568) 信息 (2684, 2714, 2848, 2916)	

原子力显微镜液池成像技术应用于微絮凝过滤工艺过程中的实验条件优化

郑蓓, 葛小鹏*, 于志勇, 原盛广, 张文婧, 孙景芳

(中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 采用原子力显微镜液池成像技术对微絮凝过滤工艺过程中的微絮凝时间和搅拌强度进行优化. 结果表明, 原子力显微镜液池成像技术可以对混凝过程中的微絮体进行形貌表征和数字描述, 并证实微絮凝过滤工艺在处理实际印染工业尾水过程中, 微絮凝时间为 2 min, 搅拌强度为 100 s^{-1} 时可以达到优化的处理效果.

关键词: 原子力显微镜; 微絮凝过滤; 液池成像; 形貌观测; 环境微界面过程

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2012)08-2723-05

Coupling AFM Fluid Imaging with Micro-Flocculation Filtration Process for the Technological Optimization

ZHENG Bei, GE Xiao-peng, YU Zhi-yong, YUAN Sheng-guang, ZHANG Wen-jing, SUN Jing-fang

(State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Atomic force microscope (AFM) fluid imaging was applied to the study of micro-flocculation filtration process and the optimization of micro-flocculation time and the agitation intensity of G values. It can be concluded that AFM fluid imaging proves to be a promising tool in the observation and characterization of floc morphology and the dynamic coagulation processes under aqueous environmental conditions. Through the use of AFM fluid imaging technique, optimized conditions for micro-flocculation time of 2 min and the agitation intensity (G value) of 100 s^{-1} were obtained in the treatment of dye-printing industrial tailing wastewater by the micro-flocculation filtration process with a good performance.

Key words: atomic force microscope (AFM); micro-flocculation filtration; fluid imaging; morphology; environmental micro-interface

混凝是工业废水和生活污水处理中最基本也是极为重要的处理操作单元^[1,2], 为进一步强化凝聚絮凝过程, 发展了微絮凝-直接过滤组合新工艺^[3]. 微絮凝-直接过滤, 简称直接过滤工艺^[4], 是省去沉淀过程而将混凝反应与过滤截留 2 种过程在滤柱或滤池内一次同步完成的一种新型接触絮凝工艺技术. 它不仅可简化水处理流程, 降低投资费用, 减少运行成本, 而且还可延长过滤周期, 提高产水量. 其出水水质比传统工艺要好得多, 因而是一种高效经济的集成工艺技术, 该工艺可减少 80% 构筑物体积^[5].

作为一种组合集成工艺技术, 微絮凝条件的选择与优化(主要包括: 微絮凝时间, 搅拌强度等)对于微絮凝直接过滤工艺的处理效果至关重要. 目前, 对其进行优化的方法主要是采用激光粒度分析仪进行动态观测, 以粒径变化为评价标准借以求得最佳的微絮凝时间和搅拌强度. 这种方法尽管对絮体粒径大小进行了数字化描述, 但是其絮体成长过程中的形貌变化则无法实现直接观测与表征. 有不少学

者也曾试图采用扫描电镜和透射电镜对混凝过程中形成的絮体进行形貌表征, 但这 2 种方法在制样过程中都不可避免地要求对样品进行干燥处理, 从而导致絮体脱水形成枯枝残片而失去其研究价值.

1982 年国际商业机器公司 (IBM) 瑞士苏黎世实验室的科学家葛·宾尼 (Gerd Binnig) 与海·罗雷尔 (Heinrich Rohrer) 共同研制发明了世界上第一台新型表面分析仪器——扫描隧道显微镜 (scanning tunneling microscope, STM)^[6], 在此基础上于 1982 年又发展了原子力显微镜 (atomic force microscope, AFM), 以这两类显微镜为代表逐渐发展形成了扫描探针显微镜家族系列. 原子力显微镜自投入商业应用以来, 因其具有独特的高分辨成像能力 (可在原子、分子水平及亚微观即介观水平上进行观测), 观察样品不受样品导电性限制, 可在大气、真空以

收稿日期: 2011-06-09; 修订日期: 2012-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (20677073)

作者简介: 郑蓓 (1981 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水处理吸附絮凝工艺及原子力显微镜在环境领域的应用, E-mail: beizheng@rcees.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: xpge@rcees.ac.cn

及液体等环境条件下进行成像观测等优点,在生物医学^[7~15]、高分子材料^[16~17]、纳米材料及表面科学(如半导体材料、催化剂等)^[18~22]以及原子、分子操纵和纳米加工^[23~24]等领域得到了广泛应用.本研究采用原子力显微镜液池成像技术对不同微絮凝时间和不同搅拌强度下的絮体形貌进行了表征,同时还对粒径变化进行了数字描述,更加直观和真实地反映了混凝过程中絮体微观形貌的动态变化过程,为微絮凝直接过滤集成工艺条件优化提供了参考依据,从而具有广泛的应用发展前景.

1 材料与方法

1.1 试剂与材料

选取某印染企业尾水进行实验研究,该水体浊度 35 NTU. 絮凝剂采用聚合氯化铝(PAC),其 Al_2O_3 含量为 10%,投药量为 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 过滤杯滤料采用粒径为 0.6~1.2 mm 的石英砂滤层.

1.2 仪器条件与实验流程

实验使用 Nanoscope IIIa Multimode SPM 型原子力显微镜,采用接触模式, Si_3N_4 探针长度 200 μm ,力常数 $0.12 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$. 实验所用成像观测液池的俯视图见图 1.

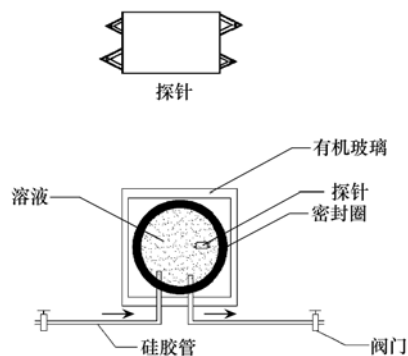


图 1 Si_3N_4 探针示意与成像观测液池俯视图

Fig. 1 Top view of Si_3N_4 probe and the fluid cell

所谓原子力显微镜液池成像系统,是指为了做到真正的溶液条件下观测样品,在原子力显微镜系统中引入液池.液池由高分子聚合物的有机玻璃材质制成,具有耐酸、耐碱、不易被腐蚀等特点,可以满足在不同性质液体条件下进行形貌观测与表征.液池呈正方形形状,透明可视,其整体安装在一个二维微位移机构上,液池侧面有开孔通过 2 根硅胶管与外界相通.液体样品从一端进入液池,当充满整个密闭体系空间后,由另一端流出.液池密封圈的作用是使样品处于一个完全密闭的空间防止空气进入,

这样就使得光路不经过气-液界面折射,而是经由气-固和固-液界面进入反馈系统,因此即使液面抖动,也不会影响到检测光路的稳定性.同时,使液体表面张力作用于有机玻璃质周边,减少了对探针的干扰.使用液池进行成像观测时,在进样过程中气泡可能会夹杂其中,并依附在样品表面从而影响成像观测的进行.这是液池成像观测的难点,为避免这一现象的发生,通过大量实验摸索出“快速进样”的方法,由于进样速度较快,使液体带走样品表面黏附的气泡,可有效防止气泡对观测过程带来的影响,从而提高了成像观测效率.

实验装置流程如图 2 所示.水样通过水泵进入高位水槽靠自然水压进入混合池,为优化微絮凝时间,选择 1、2、3 和 4 min 这 4 个时间点进行实验;同时,对搅拌强度进行优化,选取 4 个强度等级 40、100、170 和 250 s^{-1} 进行实验验证.通过开闭三通阀控制液体出入原子力显微镜液池成像系统,进而实现形貌观测表征与粒径统计.

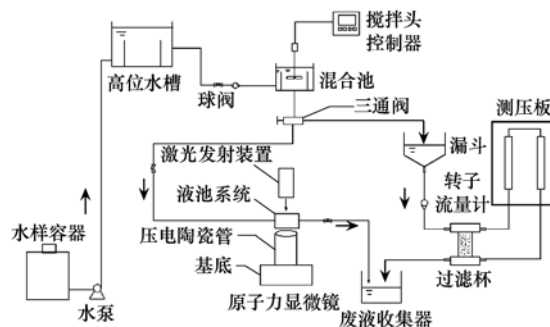


图 2 原子力显微镜液池成像系统与微絮凝直接过滤体系耦合的实验装置示意图

Fig. 2 Diagram of device for coupling the AFM fluid imaging system with micro-flocculation filtration process

2 结果与讨论

2.1 液池成像技术对不同微絮凝时间下形成絮体的形貌观测与表征

图 3 给出了采用液池成像系统在不同微絮凝时间条件下观测到的絮体生长情况,其微絮凝直接过滤工艺的水头损失和出水浊度的变化情况如图 4 所示.根据原子力显微镜的成像结果可以看出,微絮凝时间为 1 min 时絮体形貌较小,粒径大约在 150~550 nm 之间.此时絮体进入滤柱后不易被滤料拦截,从而容易穿透滤层,其水头损失为 13 mm,出水浊度为 4.8 NTU;随着混凝的进行和絮凝时间的延长,2 min 时微絮体的平均粒径增至 200~800 nm,此时絮体颗粒分布已不均匀,开始出现一些小的团

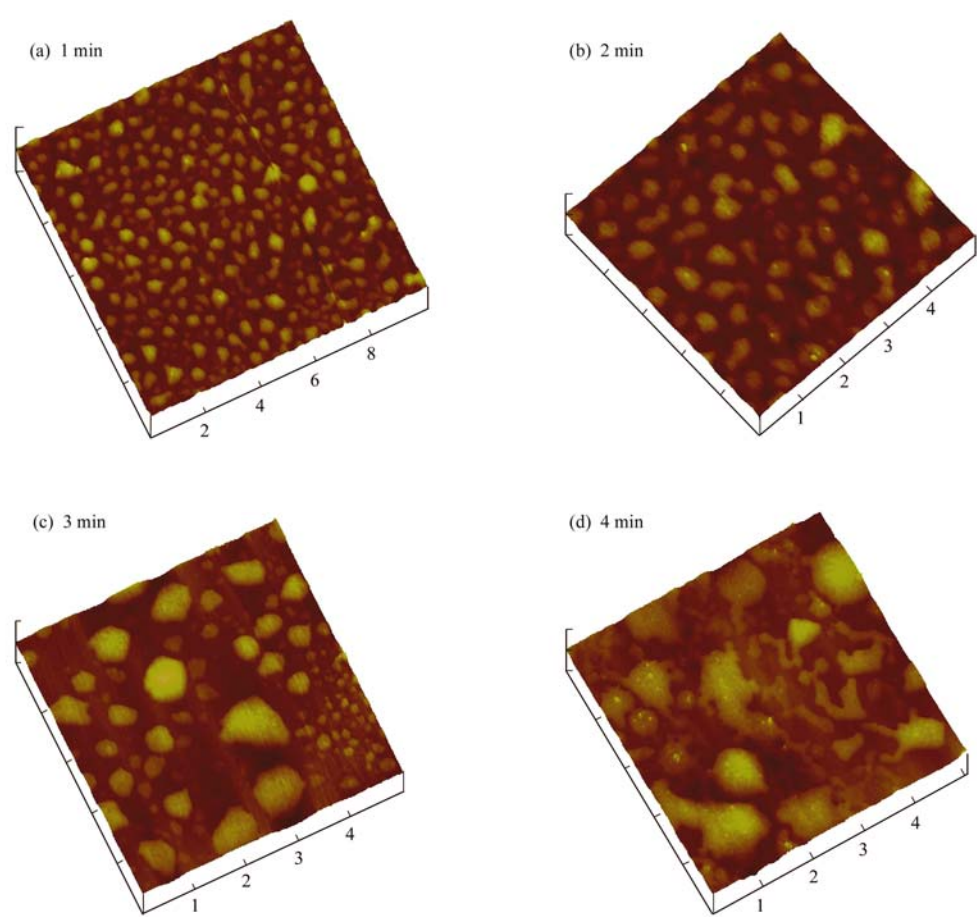


图 3 不同微絮凝时间下絮体的微观形貌观测结果

Fig. 3 Morphological images of micro-flocs formed at different flocculation times

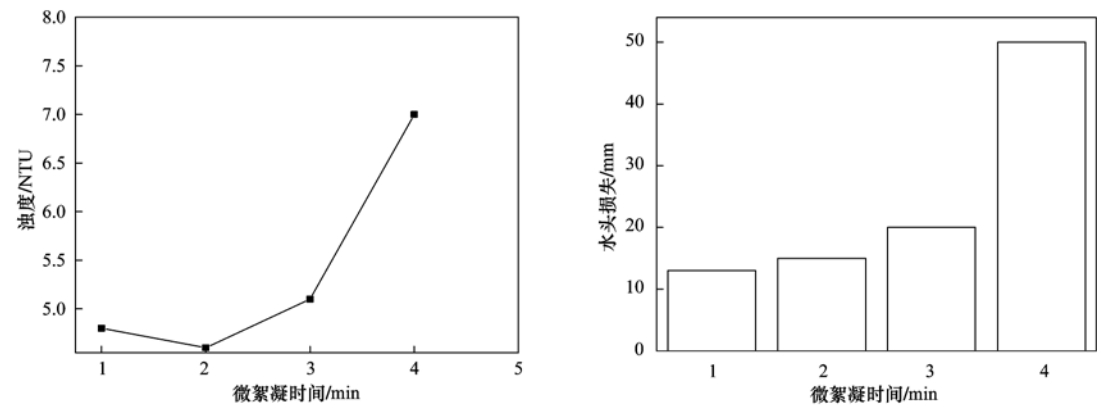


图 4 不同微絮凝时间下水头损失和出水浊度变化情况

Fig. 4 Variation of water head loss and the effluent turbidity at different micro-flocculation times

聚,水头损失增加至 15 mm,出水浊度有所下降为 4.6 NTU;微絮凝时间增加为 3 min 时,絮体的平均粒径增至 900 nm ~ 1.8 μm ,水头损失增至 20 mm,出水浊度则增至 5.1 NTU;当微絮凝时间为 4 min 时,微絮体的平均粒径已增至 2.5 ~ 3 μm .此时,大部分微絮体均已发生团聚而形成更大的絮体,它们

不容易进入滤料层,从而沉积在表面,堵塞滤床,导致水头损失急剧增加至 50 mm,出水水质变差,浊度为 7 NTU.因此,选定微絮凝时间为 2 min 作为优选的水力停留时间.

2.2 液池成像技术对不同搅拌强度下絮体破碎情况的观测表征

速度梯度 (G 值) 对微絮体生长过程具有重要影响, 合适的 G 值可以起到充分发挥絮凝剂作用的目的, 从而大幅提高絮凝效果. 如 HPAC 之类的复合无机高分子絮凝剂在絮凝过程中主要以架桥吸附和表面吸附作用为主, 当其进入水体后的瞬间需要强烈搅拌, 使之迅速而均匀地分散于水体中, 从而促使

微絮体的快速形成. 而在絮凝体形成之后, 搅拌速度过快, 则会将形成的大的絮体打碎形成细小颗粒物, 而不易被滤料截留, 从而降低絮凝效果. 为验证这一理论, 对形成的絮体使用原子力显微镜液池成像技术进行观测, 结合微絮凝-直接过滤工艺进行效能验证. 图5表示的是不同 G 值下的絮体形貌. 由此可

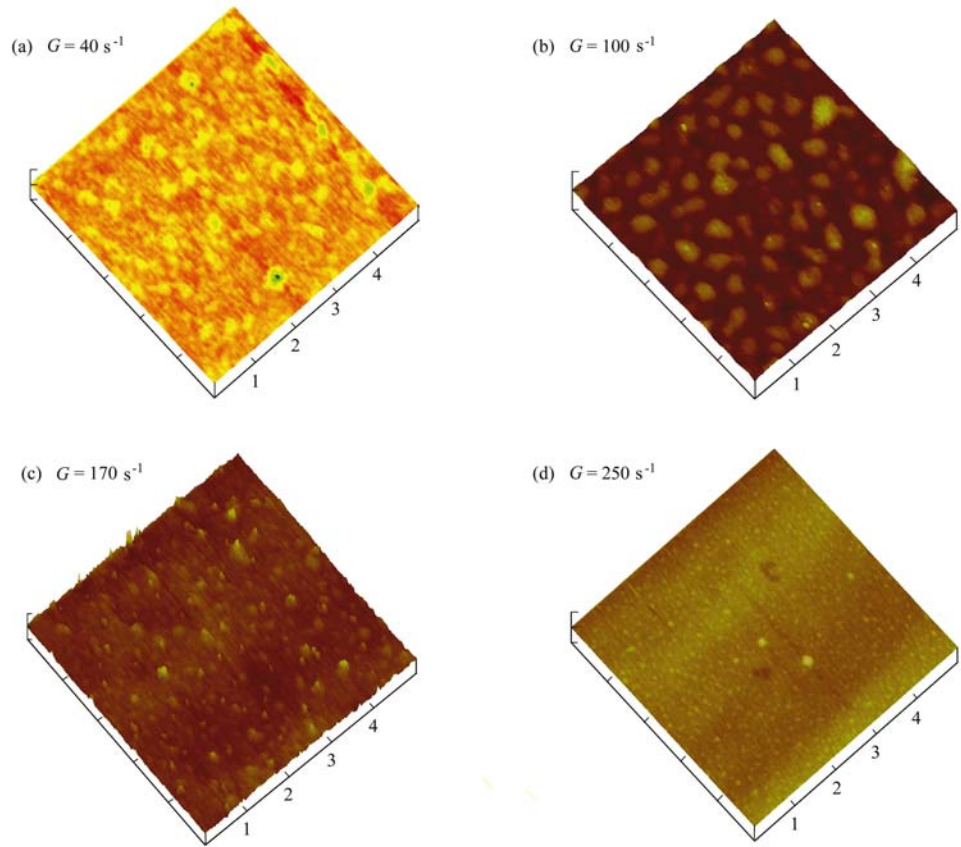


图 5 液池成像技术对不同 G 值条件下絮体微观形貌的观测结果

Fig. 5 Comparison between the morphological micrographs of micro-flocs at different G values by AFM fluid imaging

以看出, G 值较小如 40 s^{-1} 时, 由于絮体尚未形成, 此时观察到的只是絮体生长初期的形貌. 因此, G 值较小时出水水质较差. 当 G 值过大如 170 s^{-1} 时, 形成的絮体被打碎成微小的颗粒, 这种细小的颗粒物极易穿透滤层, 从而降低了出水水质. 图 6 表示的是不同 G 值下中试设备出水的浊度变化情况. 由此可以看出, G 值为 100 s^{-1} 时出水效果较好, 浊度为 4.6 NTU ; 当 G 值为 170 s^{-1} 时出水浊度为 8.0 NTU ; 当 $G < 100\text{ s}^{-1}$ 时处理效果也呈逐渐变差的趋势, 例如 G 值为 40 s^{-1} 时出水浊度为 7.6 NTU . 此结果恰好与原子力显微镜液池成像观测结果相一致.

3 讨论

在微絮凝-直接过滤工艺处理工业废水过程中,

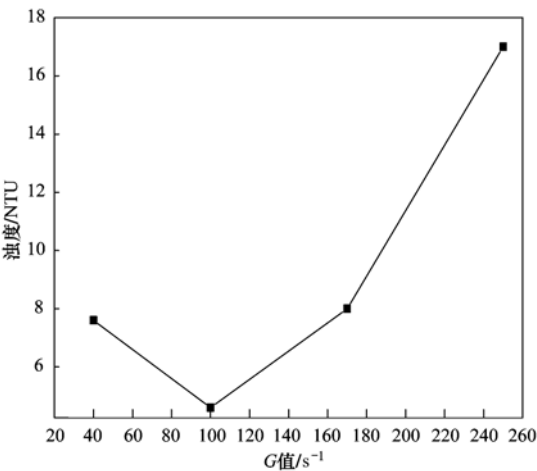


图 6 不同 G 值条件下微絮凝直接过滤工艺出水浊度变化情况

Fig. 6 Changes of effluent turbidity at different G values

微絮凝时间、搅拌强度的合理选择将直接关系到处理的效果。微絮凝时间过短絮体尚未形成,后续过滤工艺无法发挥作用;如果微絮凝时间过长,絮体增至 μm 级已达到沉淀时的体积,甚至在未进入过滤工艺之前就已在混合池中沉淀,从而失去了微絮凝过滤集成处理工艺的意义。通过实验得知,微絮凝时间控制在 2 min 为宜。搅拌强度对工艺的影响,表现在通过提高颗粒物与药剂结合、颗粒物与颗粒物之间有效碰撞几率促进絮体形成。搅拌强度过慢达不到这种效果,过快又会打碎絮体形成新的细小颗粒污染物。通过实验得知,搅拌强度为 100 s^{-1} 时可以达到较理想的效果。

4 结论

传统的 AFM 表征一般是在静态的条件下对样品形貌进行观测,而液池技术的引入可以实现对环境微观过程的动态原位表征,如在混凝过程中可以清晰地观测到絮体的成长情况和随着搅拌强度的不断增强后絮体的破碎情况,进而对工艺条件进行优化。通过液池成像技术与微絮凝过滤工艺的耦合实验,证实了原子力显微镜的表征结果,从而使扫描探针技术在环境科学领域得到了较好的应用。

参考文献:

- [1] Holmström K E, Järnberg U, Bignert A. Temporal trends of PFDS and PFOA in guillemot eggs from the Baltic Sea, 1968-2003[J]. Environmental Science and Technology, 2005, **39**(1): 80-84.
- [2] Moody C A, Martin J W, Kwan W C, *et al.* Monitoring perfluorinated surfactants in biota and surface water samplers following an accidental release of fire fighting foam into etobicoke creek[J]. Environmental Science and Technology, 2003, **36**(4): 545-551.
- [3] Taniyasu S, Kannan K, Horii Y, *et al.* A survey of perfluorooctane sulfonate and related perfluorinated organic compounds in water, fish, birds and humans from Japan[J]. Environmental Science and Technology, 2003, **37**(12): 2634-2639.
- [4] Letterman R D. An overview of filtration[J]. Journal AWWA, 1987, **79**(12): 26-32.
- [5] Jonsson L, Plaza E, Hultman B. Experiences of nitrogen and phosphorus removal in deep-bed filters in the Stockholm area [J]. Water Science and Technology, 1997, **36**(1): 183-190.
- [6] Binnig G, Rohrer H. Scanning tunneling microscope [J]. Helvetica Physica Acta, 1982, **55**(4): 726-729.
- [7] Binnig G, Quate C F, Gerber C. Atomic force microscope [J]. Physical Review letters, 1986, **56**(9): 930-933.
- [8] Yang J, Shao Z F. Recent advances in biological atomic force microscopy [J]. Micron, 1995, **26**(1): 35-49.
- [9] You H X, Lowe C R. Progress in the application of scanning probe microscopy to biology [J]. Current Opinion in Biotechnology, 1996, **7**(1): 78-84.
- [10] Ikai A. STM and AFM of bio/organic molecules and structures [J]. Surface Science Reports, 1996, **26**(8): 261-332.
- [11] Li M Q. Scanning probe microscopy (STM/AFM) and applications in biology [J]. Applied Physics: Materials Science & Processing, 1999, **68**(2): 255-258.
- [12] Yip C M. Atomic force microscopy of macromolecular interactions [J]. Current Opinion in Structural Biology, 2001, **11**(5): 567-572.
- [13] 鲍幸峰, 方积年. 原子力显微镜在生物大分子结构研究中的应用进展 [J]. 分析化学, 2000, **28**(10): 1300-1307.
- [14] 张亦奕, 牟建勋, 劭志峰. 原子力显微镜在结构生物学中的应用 [J]. 电子显微学报, 1996, **15**(2-4): 314-328.
- [15] 屈小中, 史焱, 金熹高. 原子力显微镜在分子领域的应用 [J]. 功能高分子学报, 1999, **12**(2): 218-224.
- [16] 罗艳红, 姜勇, 雷玉国, 等. 原子力显微镜研究高聚物结晶的最新进展 [J]. 科学通报, 2002, **47**(15): 1121-1125.
- [17] Muster J, Duesberg G S, Roth S, *et al.* Application of scanning force microscopy in nanotube science [J]. Applied Physics, 1999, **69**(3): 261-267.
- [18] 白春礼, 林璋. 扫描探针显微镜在材料表面纳米级结构研究中的新进展 [J]. 物理, 1999, **28**(1): 27-30.
- [19] Oesterschulze E. The potential of the scanning probe microscopy for thin film characterization [J]. Surface and Coatings Technology, 1997, **97**(1-3): 694-706.
- [20] Gaigneaux E M. Application of scanning probe microscopies to oxide catalysts [J]. Current Opinion in Solid State & Materials Science, 1998, **3**(4): 343-353.
- [21] 谢敬伟, 暴宁钟, 陆小华. 扫描探针显微技术在 TiO_2 表面研究中的应用 [J]. 化学通报, 2002, **65**(7): 445-451.
- [22] 张益, 陈圣福, 欧阳振乾, 等. 单个 DNA 分子的拉直操纵和成像 [J]. 科学通报, 2000, **45**(5): 490-493.
- [23] 胡钧, 张志鸿, 欧阳振乾, 等. 人工操纵病毒的原子力显微镜研究 [J]. 生物化学与生物物理进展, 1998, **25**(2): 175-177.
- [24] 张宇军, 李鹏, 胡元中, 等. 碳纳米管的操纵和剪切 [J]. 科学通报, 2002, **47**(14): 1066-1070.

CONTENTS

Levels and Sources of Gaseous Polybrominated Diphenyl Ethers in Air over the Northern South China Sea	LI Qi-lu, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (2533)
Observation and Analysis of Air Pollution in Zhangjiakou, Hebei	SHAO Ping, WANG Li-li, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2538)
Smog Chamber Simulation of Ozone Formation from Atmospheric Photooxidation of Propane	HUANG Li-hua, MO Chuang-rong, XU Yong-fu, <i>et al.</i> (2551)
Mechanism and Performance of a Membrane Bioreactor for Treatment of Toluene Vapors	YE Qi-hong, WEI Zai-shan, XIAO Pan, <i>et al.</i> (2558)
Analysis of Odor Pollutants in Kitchen Waste Composting	ZHANG Hong-yu, ZOU Ke-hua, YANG Jin-bing, <i>et al.</i> (2563)
Spatial Changes and Sources of Nitrate in Beijing Urban Ecosystem Surface Water	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (2569)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from Three Tributaries of Yangtze River in Different Periods	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2574)
Distribution Characteristics and Potential Risks of Phenols in the Rainy Season Surface Water from Three Gorges Reservoir	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2580)
Spatial Distribution of Perfluorooctanoic Acids and Perfluorinate Sulphonates in Surface Water of East Lake	CHEN Jing, WANG Lin-ling, ZHU Hu-di, <i>et al.</i> (2586)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in Daninghe River and Modaoxi River of Three Gorges Reservoir Areas	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2592)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Yangtze River	WANG Lan, WANG Ya-ping, XU Chun-xue, <i>et al.</i> (2599)
Analysis of the Source, Potential Biological Toxicity of Heavy Metals in the Surface Sediments from Shellfish Culture Mudflats of Rudong Country, Jiangsu Province	LI Lei, WANG Yun-long, JIANG Mei, <i>et al.</i> (2607)
Effect of Disturbance Intensity on Phosphorus Release and Its Transformation in the Sediment from Taihu Lake	LI Da-peng, HUANG Yong (2614)
Effects of Intrusions from Three Gorges Reservoir on Nutrient Supply to Xiangxi Bay	ZHANG Yu, LIU De-fu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2621)
Influence of Perennial Flooding and Drought on Growth Restoration of <i>Acorus calamus</i> in Water-level-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, GAO Xiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i> (2628)
Pollution Load and the First Flush Effect of Phosphorus in Urban Runoff of Wenzhou City	ZHOU Dong, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan (2634)
Output Characteristics of Rainfall Runoff Phosphorus Pollution from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area	YU Xing-xiu, LI Zhen-wei, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (2644)
Influence of Land Use Structure on Nitrogen Output in the Watershed of Suburban Agriculture Regions	YANG Feng, WANG Peng-ju, YANG Shan-shan, <i>et al.</i> (2652)
Simulation of Nitrogen and Phosphorus Loss in Siling Reservoir Watershed with AnnAGNPS	BIAN Jin-yun, WANG Fei-er, YANG Jia, <i>et al.</i> (2659)
GIS and L-THIA Based Analysis on Variations of Non-point Pollution in the Guanlan River Watershed, Shenzhen	BAI Feng-jiao, LI Tian-hong (2667)
Response of Sloping Water Erosion to Rainfall and Micro-earth Pattern in the Loess Hilly Area	WEI Wei, JIA Fu-yan, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (2674)
Comparison Study of Enhanced Coagulation on Humic Acid and Fulvic Acid Removal	ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji, YE He-xiu, <i>et al.</i> (2680)
Real-time PCR Detection and Quantification of Emerging Waterborne Pathogens (EWPs) and Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in the Downstream Area of Jiulong River	WANG Qing, LIN Hui-rong, ZHANG Shu-ting, <i>et al.</i> (2685)
Quantitative and Qualitative Analysis of Total Bacteria and Ammonia-oxidizing Bacteria in Buji River in Wet Season	SUN Hai-mei, BAI Jiao-jiao, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (2691)
Study on the Nitrogen Removal Performance and the Characteristics of Denitrification Bacterial Community Structure of Biological Aerated Filter	PENG Xiao-lan, LIU Cong, CHEN Li-jun (2701)
Analysis of Microbial Community Structure at Full-scale Wastewater Treatment Plants by Oxidation Ditch	GUO Yun, YANG Dian-hai, LU Wen-jian (2709)
Performance and Microbial Community Dynamic Characteristics of an Internal Circulation Reactor Treating Brewery Wastewater	ZHU Wen-xiu, HUANG Zhen-xing, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (2715)
Coupling AFM Fluid Imaging with Micro-Flocculation Filtration Process for the Technological Optimization	ZHENG Bei, GE Xiao-peng, YU Zhi-yong, <i>et al.</i> (2723)
Study on Removal Effect of Different Organic Fractions from Bio-treated Effluent of Dye Wastewater by UV/H ₂ O ₂ Process	LI Xin, LIU Yong-di, SUN Xian-bo, <i>et al.</i> (2728)
Optimization of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 Photoheterotrophic Culture and Its Use in Wastewater Treatment	WANG Xiu-jin, LI Zhao-sheng, XING Guan-lan, <i>et al.</i> (2735)
Characteristics and Mechanism of 2,4,6-TCP Degradation by the "Fe ⁰ /Enriched-Bacteria" System	DAI You-zhi, GUO Li-li, SHI Lei, <i>et al.</i> (2741)
Immobilization of Crude Laccase onto Anion Exchange Resin and Its Application in Decoloration of Malachite Green	QI Xu-liang, LIU Xiang, LIU Bo, <i>et al.</i> (2747)
Low-Temperature Preparation of TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ and Its Photocatalytic Activity and Magnetic Recovery	WANG Xue-jiao, REN Xue-chang, NIAN Juan-ni, <i>et al.</i> (2752)
Study on Catalytic Oxidation of Benzene by Microwave Heating	ZHANG Yu-cai, BO Long-li, WANG Xiao-hui, <i>et al.</i> (2759)
Synergistic Effects of Nano-sized Magnetic Particles and Uncoupler to the Characteristics of Activated Sludge	GAO Li-ying, TANG Bing, LIANG Ling-yan, <i>et al.</i> (2766)
Experimental and Modeling Research on the Settlement of Aerobic Granular Sludge	SU Kui-zu, DENG Xiu-kun, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2773)
Analysis of Hydrolytic Enzyme Activities on Sludge Aerobic/Anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2780)
Effect of Microbial Nutrient Concentration on Improvement of Municipal Sewage Sludge Dewaterability Through Bioleaching	SONG Yong-wei, LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang (2786)
Response of the Artificial Cyanobacterial Crusts to Low Temperature and Light Stress and the Micro-structure Changes Under Laboratory Conditions	RAO Ben-jiang, LI Hua, XIONG Ying, <i>et al.</i> (2793)
Seasonal Dynamics of Soil Active Carbon Pool in a Purple Paddy Soil in Southwest China	WU Yan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2804)
Pollution Characteristics and Accumulation of Antibiotics in Typical Protected Vegetable Soils	YIN Chun-yan, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (2810)
Transformation and Influences of Copper and Selenium Fractions on Heavy Metals Bioavailability in Co-contaminated Soil	HU Bin, LIANG Dong-li, ZHAO Wen-long, <i>et al.</i> (2817)
Response of Soil Microbial Community to the Bioremediation of Soil Contaminated with PAHs	ZHANG, Jing, LIN Xian-gui, LIU Wei-wei, <i>et al.</i> (2825)
Bioremediation of PAHs Contaminated Soil from Beijing Coking Plant by <i>Lasiodiplodia theobromae</i>	ZHANG Zhi-yuan, WANG Cui-ping, LIU Hai-bin, <i>et al.</i> (2832)
Leaching Experiments on the Release of Trace Elements from Tailings of Chashan Antimony Mine, Guangxi, China	CAI Yong-bing, LI Ling, WEI Xiao-fei, <i>et al.</i> (2840)
Accumulation Characteristics of Arsenic in Suburban Soils of Beijing	QI Jie, WANG Mei-e, WANG Zi-qiang, <i>et al.</i> (2849)
Antioxidant Enzyme Gene Expression as Molecular Biomarkers of Exposure to Polycyclic Musks	CHEN Chun, ZHOU Qi-xing, LIU Xiao-wei (2855)
Effects of Ozone Pollution on the Accumulation and Distribution of Dry Matter and Biomass Carbon of Different Varieties of Wheat	KOU Tai-ji, YU Wei-wei, ZHU Jian-guo, <i>et al.</i> (2862)
Influence of Reaction Time of Urea Hydrolysis-Based Co-precipitation on the Structure of ZnAl Layered Double Hydroxides and the Phosphate Adsorption	LU Ying, CHENG Xiang, XING Bo, <i>et al.</i> (2868)
Competitive Adsorption Kinetics of Aqueous Pb ²⁺ and Cu ²⁺ on Nano-HAP Surfaces	HU Tian-tian, CANG Long, WANG Yu-jun, <i>et al.</i> (2875)
Effects of pH and Ni ²⁺ on Sorption Behavior of Phenanthrene on Engineered Nano-Silica	LUO Pei, SUN Hong-wen, ZHANG Peng (2882)
Adsorption Characteristics and Mechanism of Uranium on Attapulgite	LIU Juan, CHEN Di-yun, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2889)
Adsorption Characteristics of Ciprofloxacin in Ustic Cambosols	CUI Hao, WANG Shu-ping (2895)
Kinetic Mechanism and Characteristics Researches for Hydrazine-based NO _x Removal at Moderate to High Temperatures	HONG Liu, CHEN De-zhen, WANG Du, <i>et al.</i> (2901)
Current Research Situation of H ₂ S Selective Catalytic Oxidation Technologies and Catalysts	HAO Zheng-ping, DOU Guang-yu, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (2909)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年8月15日 33卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 8 Aug. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行